



## מסמך עמדה

### התייחסות להוראת הממונה על הקרינה הסביבתית להעדיף צמנט על פני בטון כיעד לאפר פחם

#### 2. ההיבט הסביבתי

הרגולציה הסביבתית-בריאותית ברחבי העולם מייחסת לאפר הפחם השפעה המחייבת בקרה בתקנות ותקנים בתחום אחד בלבד: יסודות קורט מזהמים בהקשר לסיכוני זיהום קרקע ומי תהום<sup>1</sup>. מנימוקים שקשה להבינם במדדים המדעיים המשמשים את הרגולציה הסביבתית בעולם המפותח, מקבל בישראל היבט החשיפה לקרינה מייננת מאפר הפחם בשימושי מעמד דומיננטי המבטל כל שיקול סוציו-אקונומי, לרבות תועלות סביבתיות נלוות. סיווג אפר פחם כפסולת רדיואקטיבית וההוראה הנגזרת ממנו כביכול, מביאים את הרגולציה הסביבתית בשימוש אפר פחם לאבסורד קיצוני המתעלם לחלוטין מהמחירים הכלכליים, הסביבתיים והחברתיים שלה.

בניתוח ההיבט הסביבתי להלן יופרך הבסיס המתחזה לעובדתי של ההגדרה וההוראה ויתוארו המחירים הסביבתיים הנובעים מהן.

א. ריכוזי היסודות הרדיואקטיביים באפר פחם בישראל נמוכים באופן ניכר מרמת הפטור לשיטת הממונה הריכוז המשוקלל של היסודות הרדיואקטיביים באפר פחם, החורג מערך נתון על פי הנוסחה המופיעה בתקנות, מחיל עליו את סיווג "פסולת רדיואקטיבית מוצקה".

אולם ממסמך יסוד של סבא"א (RS-G-1.7) משנת 2004, שעקרונותיו אושרו מחדש בתקן הבינלאומי להגנה מקרינה משנת 2014<sup>2</sup>, (להלן גם בסעיף הדן בהיבט הרגולטורי), עולה שהגישה הבינלאומית העדכנית היא להתייחס לאפר פחם כאל מקור קרינה **פטור** (exempted) מדרישות התקן הבינלאומי להגנה מקרינה<sup>3</sup>. זאת כיוון שריכוזי האקטיביות הנמוכים של החומרים הרדיואקטיביים ממקור טבעי באפר נמוכים מרמות הפטור שנקבעו לחומרים מסוג זה. רמות פטור אלו מוצגות בטבלה 1 במסמך סבא"א הני"ל, המוצגת להלן<sup>4</sup>.

ואמנם על פי מסמך סבא"א RS-G-1.7 וגם על פי התקן הבינלאומי העדכני נוסחת השקלול המופיעה בתקנות חלה על רדיונוקלידים ממקור מלאכותי (הנוצרים בתהליכים תעשייתיים או בנשורת גרעינית. דיון בנוסחת השקלול בסעיף 2). להלן בלבד ואילו אל הרדיונוקלידים המצויים באפר הפחם – רדיונוקלידים ממקור טבעי (RNO – Radionuclides of Natural Origin) (Origin) מתייחסת המגבלה לראש שרשרת הדעיכה הטבעית של היסודות <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>232</sup>Th, כלהלן:

טבלה 1 – רמות פטור מרגולציה לבטיחות קרינה (RS-G-1.7)

Table 1 – Values of activity concentration for radionuclides of natural origin

Radionuclide	Activity concentration (Bq/kg)
<sup>40</sup> K	10,000
All other Radionuclides of Natural Origin	1,000

<sup>1</sup> סיכון הכרוך בחשיפת דרכי הנשימה לאבק אפר פחם נשלל במחקר המצביע על שיעור זניח של סיליקה גבישית חופשית במקטע הננשם ומקבל ביטוי בתקנים המגדירים אותו כאבק מטריד. סיכון הכרוך בנוכחות תרכובות דיאוקסינינים ודומיהם נשלל בבדיקות המוכיחות כי ריכוזיהן באפר נמוך, בד"כ מתחת לסף הרגישות של מכשירי המדידה, תוצאת השריפה המושלמת כמעט של החומר האורגני בפחם בטמפרטורות הגבוהות של הדודים.

<sup>2</sup> [Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA, 2014](#)

התקן פורסם כטייטה להערות המדינות חברות סבא"א, בכללן ישראל, כבר בשנת 2011. בסעיפים הנוגעים לסוגיות הנידונות במסמך זה לא חל שינוי בגרסה הסופית.

<sup>3</sup> בתקן משנת 2014 הוחל על חומרים כאפר פחם המושג "שחרור" (clearance) שמשמעותו מרחיקת לכת אף יותר. על פי הגדרה זו ניתן לשחרר אפר פחם, שריכוזי הרדיונוקלידים שבו נמוכים מהרמות האמורות, לסביבה ללא כל מגבלות.

<sup>4</sup> טבלה זהה (טבלה I-3 בתוספת הראשונה (Schedule I) הוצגה בתקן הבינלאומי משנת 2014.



יצוין כי התקן הבינלאומי החדש להגנה מקרינה (גרסת 2014) פורסם על ידי הסוכנות הבינלאומית לאנרגיה אטומית IAEA בשיתוף ובחסות מועצת הקהילה האירופית EC, הסוכנות לאנרגיה אטומית של ארגון המדינות המפותחות OECD/NAE, ארגון הבריאות העולמי WHO, ארגון העבודה הבינלאומי ILO, ארגון המזון והחקלאות הבינלאומי FAO והתוכנית להגנת הסביבה של האו"ם UNEP. ישראל כידוע חתומה על אמנות הארגונים האלה ולכן מחויבת לאמץ אותן בתקנותיה.

הערה: זה המקום להתייחס לשימוש שעשה הממונה בנוסחת הפטור בתקנות לביסוס סיווג אפר פחם כפסולת רדיואקטיבית ולהסתייע בהתייחסות זו בחו"ד ט. שלזינגר<sup>5</sup> המתמקדת בשתי סוגיות המבהירות את האופן שבו יש לסווג את האפר במונחי בטיחות קרינה ולבקר את ריכוזי היסודות הרדיואקטיביים המצויים בו.

1. אפר פחם שייך לקבוצת החומרים הרדיואקטיביים ממקור טבעי בתשובתו לתגובת חברת החשמל לישראל להוראה טוען הממונה<sup>6</sup> כי אפר הפחם אינו חומר טבעי אלא חומר שבו תכולת החומרים הרדיואקטיביים הועלתה פי 10 ויותר באופן מלאכותי ולכן לא חלים עליו כללי הפטור המשמשים raw materials with unmodified concentrations of radionuclides. אכן צודק הממונה בקביעתו (אם כי ההעשרה נמוכה בד"כ מפי 10) אבל טועה במסקנה שגור ממנה.

מדריך סבא"א RS-G-1.7 מבחין בין מקורות ועיסוקים שחל עליהם עיקרון "אי החלות" (exclusion) ובין כאלה שניתן ומומלץ להכיל עליהם "פטור" (exemption). על פי המוסבר בסעיפים 1.3, 2.3 - 2.5 במדריך, עיקרון "אי החלות" אכן מתייחס רק לחומרי גלם כגון הפחם עצמו, חול, חצץ ואגרגטים אחרים שמקורם בקרקע והמכילים ריכוזים נמוכים של יסודות רדיואקטיביים טבעיים שלא עברו שינוי בתהליך עיבוד כלשהו. העיסוק בחומרים רדיואקטיביים מסוג זה לא ניתן לבקרה בפועל (unamenable to control), ולכן דרישות התקן הבינלאומי לא חלות על עיסוקים אלה ללא קשר עם מנת הקרינה הצפויה מהעיסוק בהם, משום שהם מצויים באורח טבעי בסביבה (ubiquitous in the environment) ונעשה בהם שימוש רב ומגוון.

לעומת זאת היסודות הרדיואקטיביים ממקור טבעי המצויים באפר הפחם ביישומיו השונים, כולל ביישומיו בתעשיית הבנייה, הצמנט והבטון, נמנים על המקורות והעיסוקים שחל עליהם מבחן הפטור (exemption) מהדרישות הפרטניות המליאות של התקן הבינלאומי להגנה מקרינה בכל הקשור לרישוי ובקרה מנהלית פרטנית. ואמנם בהערה 3 לסעיף 1.2 במדריך נאמר:

"The term "radionuclides of natural origin" means radionuclides that occur naturally in significant quantities on earth"

הגדרה זו מתייחסת לזהות היסודות הרדיואקטיביים ללא כל קשר להיסטוריה של ריכוזי האקטיביות שלהם בחומר. אין בהגדרה זו כל תנאי או רמז לשאלה האם ריכוזיהם בחומר הנידון עברו או לא עברו שינוי מאז שהוצאו מהקרקע. הגדרה זהה למונח radionuclides of natural origin מופיעה גם במילון מונחי הבטיחות של סבא"א משנת 2012 IAEA Safety Glossary 2012 במהדורה הקודמת (2007) של אותו מילון מעיר העורך במפורש לגבי המונח NORM – Naturally Occurring Radioactive Material<sup>7</sup>, מונח המשמש לאותה מטרה, ששינוי ריכוזי החומר הרדיואקטיבי ממקור טבעי בתהליך תעשייתי אינו מוציא את החומר מכלל הגדרתו כ-NORM:

"Naturally occurring radioactive material (NORM) - Radioactive material containing no significant amounts of radionuclides other than naturally occurring radionuclides. Materials in which the activity concentrations of the naturally occurring radionuclides have been changed by a process are included in NORM".

<sup>5</sup> [הבהרות בסוגיית ההנחיות הבינלאומיות ביחס לבקרה המנהלית על יישומי אפר פחם בתעשיית הבטון בהקשר לתכולת החומרים הרדיואקטיביים הטבעיים באפר פחם, ט. שלזינגר, 2.4.15](#)

<sup>6</sup> [תשובת הממונה לחברת החשמל מיום 17.2.15 בצירוף הערות ט. שלזינגר](#)

<sup>7</sup> המונח NORM מוסבר במילון מונחי הבטיחות של סבא"א באמצעות המונח naturally occurring radionuclides המופיע בטבלה 1 לעיל.



ואמנם בפרטיכל פגישת הוועדה הטכנית של סבא"א מדצמבר 2004 בוניה<sup>8</sup>, בהשתתפות יו"ר USEPA, שדנה בגישות הנובעות מעקרונות המדריך לניהול ולבקרת שאריות סביבתיות החוללות יסודות רדיואקטיביים טבעיים, נקבע במפורש בסעיף 3.2.1 כי אפר פחם כולו בהגדרת NORM – Natural Occurring Radioactive Material:

"NORM containing products may be either material that could be recycled for another use (e.g. coal ash ...) ..."

הסיבה להדגשת חלות הגדרת NORM גם על חומרים שריכוזי היסודות הרדיואקטיביים הטבעיים בהם עברו שינוי בתהליך (מעשה ידי אדם) נעוצה בעובדה שהציוויליזציה האנושית המודרנית היומיומית חושפת את האדם באמצעות תהליכים ומוצרים תעשייתיים (לרבות מוצרים המכילים אפר פחם) לחומרים המכילים ריכוזים מוגברים של רדיונוקלידים ממקור טבעי. מניעת עיסוק בחומרים עם ריכוזים מוגברים של חומרים רדיואקטיביים ממקור טבעי הגורמים לחשיפת עובדים ואנשים מן הציבור לרמות קרינה שאינן גבוהות משמעותית מהרמות הנפוצות בטבע, עלולה להיות כרוכה בהשקעת משאבים לא מידתית שאינה ניתנת להצדקה (התייחסות למושג "אופטימיזציה", אחד מעקרונות תורת ההגנה מקרינה, בסעיף 3 א' להלן). הגדרה זו של NORM משקפת התנהלות רגולטורית סבירה והיא מקובלת כיום בכל העולם, למרות התיאוריה המקובלת NLT – Non Linear Threshold המייחסת לכל מנת קרינה, גם זעירה, סיכון לתחלואה, זאת כיוון שמדובר בתחום המנות הנמוכות מאוד, מסדר הגודל של ההשתנות האקראית של קרינת הרקע הטבעי.

#### 2. נוסחת השקלול בתקנות אינה רלוונטית לאפר פחם

2.1. עולה באופן חד משמעי כי ריכוזי יסודות רדיואקטיביים כדוגמת אלה המצויים באפר פחם ייבחנו כיסודות ממקור טבעי וריכוזם האפקטיבי בתערובת של רדיונוקלידים אחדים המצויים בחומר בו זמנית ייקבע כמוגדר בטבלה 1 לעיל, ולא באמצעות נוסחת השקלול, כפי שנקבע בסעיף 4.6 במדריך סבא"א RS-G-1.7 ו-וב-schedule I בתקן הבינלאומי משנת 2014. סעיף 4.7 במדריך הבטיחות ונוסחת השקלול המוצגת בו נועדו במפורש לתערובת של רדיונוקלידים ממקור מלאכותי בלבד:

4.6 For mixtures of radionuclides of **natural origin**, the concentration of each radionuclide should be less than the relevant value of the activity concentration given in Table I.

4.7 For material containing a mixture of radionuclides of artificial origin, the following formula should be used

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(\text{activity concentration})_i} \leq 1$$

where  $C_i$  is the concentration (Bq/g) of the  $i^{\text{th}}$  radionuclide of **artificial origin** in the material,  $(\text{activity concentration})_i$  is the value of activity concentration for the radionuclide  $i$  in the material and  $n$  is the number of radionuclides present.

בהתאם לכך טבלה 2 במדריך המפרט את ערכי ריכוזי האקטיביות המרביים לפטור לרדיונוקלידים ממקור מלאכותי, אינה כוללת כמובן את היסודות הרדיואקטיביים ממקור טבעי המצויים באפר הפחם.

נוסיף כי נוסחת השקלול וטבלת ריכוזי האקטיביות המרביים המופיעים בתקנות הועתקו מתת הסעיף (e) ומהטבלה Table I בסעיף 307 בגרסת טיוטה מוקדמת בדו"ח טכני (TECDOC) מס' 855 של סבא"א מינואר 1996<sup>9</sup>, שעדיין לא הבחינה בין יסודות טבעיים למלאכותיים. טיוטת הדוח הטכני הנ"ל לא הפכה מעולם למסמך רשמי של סבא"א. במהלך כתיבת מדריך RS-G-1.7 התגבשה התפיסה שיש לקבוע תקנות סבירות להגנה מקרינה שמקורה ביסודות רדיואקטיביים הנפוצים בטבע מוקדמת דנא, המצויים בתפוצה רחבה, לעיתים בריכוזי אקטיביות (Bq/kg) מוגברים, גם בסביבה המלאכותית הנוצרת בידי אדם

<sup>8</sup> [IAEA-TECDOC-1484: Regulatory and management approaches for the control of environmental residues containing naturally occurring radioactive material \(NORM\), January 2006](http://www.iaea.org/publications/tecdoc/tecdoc1484.pdf)

<sup>9</sup> [IAEA-TECDOC 855, Clearance levels for radionuclides in solid materials, Application of exemption principles, Interim report for comment, January 1996](http://www.iaea.org/publications/tecdoc/tecdoc855.pdf)



מחומרי הטבע, ולהחמיר בדרישות הגנה מקרינה רק ביחס ליישומים של יסודות חדשים הזרים לאבולוציה הטבעית של האדם. על אף שהמדריך על הגדרותיו לעיל פורסם כבר בשנת 2004, כשנתיים לאחר פרסום התקנות, נותרו הנוסחה והטבלה בתקנות ללא שינוי זה למעלה מ- 10 שנים מטעמים השמורים במשרד להגנת הסביבה. זאת למרות שהוועדה המקצועית תורתית העבירה למשרד להגנת הסביבה הסתייגויות מפליגות לנוסח התקנה, כולל בין השאר לשימוש בטבלה הני"ל.

על פי מדידות (בשיווי משקל סקולרי) של ריכוזי החומרים הרדיואקטיביים ממקור טבעי הנערכות באופן עקבי במעבדת בטיחות קרינה בממ"ג-שורק באפר פחם מכל מקורות הפחם הנשרפים בישראל מאז 2004<sup>10</sup>, מתקבלים הערכים הבאים לאפר מרחף (המשמש בתעשיית הבטון והצמנט)<sup>11</sup>:

טבלה 2 – ריכוזי יסודות רדיואקטיביים RNO באפר פחם בישראל

<sup>40</sup> K	שרשת <sup>232</sup> Th	שרשת <sup>226</sup> Ra	Bq/kg
628	240	264	מקסימום
288	135	155	ממוצע משוקלל לפי מקורות
105	46	55	מינימום

מכאן ריכוזי היסודות הרדיואקטיביים באפר פחם הישראלי (ממוצע משוקלל) נמוכים לפחות פי 7 מרמת הפטור:

טבלה 3 – ריכוזי RNO באפר פחם בישראל יחסית לרמת הפטור

<sup>40</sup> K	שרשת <sup>232</sup> Th	שרשת <sup>226</sup> Ra	ממוצע משוקלל Bq/kg באפר פחם בישראל
2.8%	14%	16%	% מרמת פטור IAEA
10,000	1,000	1,000	רמת פטור IAEA מרגולציה

ובמקרה הקיצוני אינם עולים על 25% מרמה זו.

ב. אפר הפחם תורם לחשיפה לקרינה מבטון ברמה הנחשבת נמוכה מאד<sup>12</sup> במסמך ההנמקה טוען הממונה ש"ריכוז החומרים הרדיואקטיביים באפר הפחם הוא גבוה פי 20 מבשאר מרכיבי הבטון". השוואת ממצאי בדיקות הנערכות באופן שיטתי ושגרתי מדי שנה בכל מקורות אפר הפחם עם ריכוזי הרדיונוקלידים בחומרי הגלם האחרים הנבדקים מעת לעת, מצביעה על עובדות שונות בתכלית. הריכוזים המייצגים באפר הפחם מצויים בתחום קרוב לחומרי הגלם המוחלפים על ידו בבטון<sup>13</sup>.

טבלה 4 – ריכוזי RNO בחומרי גלם בבטון

<sup>40</sup> K	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	Bq/kg
35	1	40	אגרנט דולומיט
140	40	70	צמנט
150	13	20	חול רותם
288	135	155	אפר (ממוצע משוקלל)

על כך יש להוסיף שלערכים בחומרי הגלם אין משמעות כשלעצמם אלא להשפעתם על החשיפה בשימושים. בהקשר זה ראוי לצטט מחו"ד שהוכנה ע"י פרופ' טוביה שלזינגר: "הסיכונים הכרוכים ביישומי אפר פחם בתעשיית הבנייה נמוכים ומהווים כשלעצמם רק חלק, ובדרך כלל רק חלק קטן, מסיכוני הקרינה הכרוכים בשימוש במכלול חומרי הגלם בתעשיית הבניה שכולם מכילים ריכוז זה או אחר של חומרים רדיואקטיביים טבעיים, ושהשימוש בהם כרוך אף הוא בסיכון נמוך ומקובל"<sup>3</sup>.

<sup>10</sup> מקור: בדיקות ממ"ג שורק (אתר מנהלת אפר פחם)

<sup>11</sup> ערכי הריכוזים באפר תחתית נמוכים בד"כ בשיעור העולה על 20%.

<sup>12</sup> הנתונים בסעיף זה, שמקורם בבדיקות שנערכו במעבדת בטיחות קרינה בממ"ג-שורק, נבחנו בבדיקות מדגמיות שנערכו במקביל במעבדת הקרינה של NRG בארנהם, הולנד. בעוד ערכי הגמא שהתקבלו דומים בשתי המעבדות, במעבדת NRG נרשמה הפחתה גדולה יותר בשפיעת רדון בהוספת אפר פחם.

<sup>13</sup> מקור: בדיקות ממ"ג שורק (סקר מחצבות ובדיקות שונות)



ואמנם חישוב החשיפה לקרינה החיצונית (גמא) ממרכיבי הבטון השונים, המתחשב בחלקם היחסי בתערובת מייצגת, מעלה שתרומת האפר דומה לתרומת המרכיבים האחרים (שארית 7% ל- 100% מרכיבי התערובת היא מים):

טבלה 5 – תרומת חומרי הגלם לחשיפה לקרינת גמא מבטון

חומר	% בתערובת	mSv לשנה לאדם
אגרגט דולומיט	58	0.08
צמנט	10	0.04
חול רותם	21	0.04
<b>אפר (ממוצע משוקלל)<sup>14</sup></b>	<b>4 (100 ק"ג/מ"ק)</b>	<b>0.05</b>

זאת, יש לציין ללא התחשבות בתרומת הרדון (הגורם המשמעותי יותר בסיכון לתחלואה, פי 20 מקרינת הגמא) לחשיפה לקרינה של דירי המבנה, הפוחתת בדרך כלל בהוספת אפר לבטון<sup>15</sup>. ואמנם חישוב כוללני הלוקח בחשבון גם את החשיפה לרדון מעלה כי בממוצע תורם האפר מהמקורות השונים תוספת מנה בשיעור 0.03 – 0.05 mSv בשנה בתערובות הבטון הנפוצות במשק, המהווה הפחתה של כ- 20% מתרומתו בקרינת הגמא לבדה. ראוי להסב את תשומת הלב לכך שישנם מקורות אפר שבשל תרומתם להפחתת שפיעת רדון תרומתם הכוללת לקרינה, בהשוואה לתערובת ללא אפר, אפסית ואף שלילית:

טבלה 6 – תרומת אפר פחם לחשיפה לקרינה כוללת מבטון בהשוואה לבטון ללא אפר פחם

mSv לשנה לאדם	אפר בבטון (ק"ג/מ"ק)	75 (3%)	120 (5%)	0
מוחלט	מינימום	0.42	0.37	0.42
	ממוצע	0.45	0.47	
	מקסימום	0.54	0.59	
ביחס לבטון ללא אפר	מינימום	0	-0.05	0.05
	<b>ממוצע</b>	<b>0.03</b>	<b>0.05</b>	
	מקסימום	0.12	0.17	

מכאן שבחשבון הכולל תורם האפר לתוספת מנת קרינה ברמה הנחשבת טריוויאלית במונחי בטיחות קרינה.

יצוין כי ממצאים אלה מבוססים על בדיקות פרטניות של תערובות נפוצות עם אפר פחם מהמקורות השונים המייצגים את תחום ריכוזי היסודות הרדיואקטיביים בסל הפחם המיובא לישראל. מתברר כי ממצאים אלה מחמירים בהשוואה לסקר ארצי על הרדיואקטיביות הטבעית בבטון בישראל שהתפרסם לאחרונה ע"י פרופ' קוסטה קובלר מהמכון הלאומי לחקר הבנייה בטכניון<sup>16</sup>. מהסקר, אשר ניתח סטטיסטית את ממצאי בדיקות הקרינה שנערכו על פי ת.י. 5098 בדוגמאות בטון מייצגות במסגרת הסמכת מפעלי בטון ע"י מכון התקנים בשנים 2012 - 2014, עולה כי ברמת מובהקות של 95% אין הבדל סטטיסטי בין מדדי הקרינה של תערובות בטון עם וללא אפר פחם. ממוצע הערכים בסקר נמוך יותר בבטונים המכילים אפר פחם:

טבלה 7 – ממוצע אינדקס I בבטונים לפי ת.י. 5098, סקר לאומי, קובלר

עם אפר פחם	ללא אפר פחם	I
0.49	0.56	$mSv/y = I * 1.4^{17}$
0.68	0.79	

הסבר לממצא זו ניתן לייחס בין השאר לתרומת אפר הפחם להפחתה בשפיעת הרדון.

<sup>14</sup> 0.08 mSv עם אפר בעל הערך המרבי. 0.13 בהוספת 160 ק"ג/מ"ק בטון עם אפר בעל הערך המרבי.

<sup>15</sup> מרבית הרדון שמקורו באפר נותר כלוא עד לדעיכתו במבנה הזכוכיתי של גרגרי האפר. תרומת האפר לציפוף הבטון ולגיבושו מפחיתה שפיעת רדון מכלל מרכיבי הבטון.

<sup>16</sup> [סקר לאומי על רדיואקטיביות טבעית בבטון \(2012 – 2014\)](#), ק. קובלר, המכון הלאומי לחקר הבנייה, הטכניון, 14.12.11.

<sup>17</sup> I מקבל את הערך כאשר התערובת מקבלת את הערך 1.4 mSv



חיזוק למסקנה זו ניתן בפרסום של USEPA מפברואר 2014 על הסיכונים הסביבתיים הכרוכים בניצול אפר פחם בבטון (שהוזכר כבר בסעיף 2. ב' לעיל) האומר<sup>18</sup>:

"The cumulative body of evidence provided by these evaluations\* is considered sufficient to demonstrate that radiation from fly ash concrete is either comparable to that from analogous products made without CCRs, or is at or below relevant benchmarks established by national and international standard-setting and regulatory bodies".\* USGS, NCRP, UKHPA etc.

ג. שינוי חשיפת הציבור לקרינה בהסתת אפר פחם משימוש בבטון לצמנט  
כאמור בפתח הדברים נימק הממונה את הוראתו בטענה ש"מבחינת בטיחות קרינה שימוש באפר פחם כרכיב במלט עדיף על שימוש באפר פחם כרכיב בבטון".  
בטרם בחינת התוצאה במונחי חשיפת הציבור לקרינה מתבקשת הערה מקדימה על ההנחות העומדות לכאורה ביסוד ההוראה. במסמך ההנמקה מציין הממונה כי בעוד אפר פחם מתוסף לבטון באמצעות הצמנט בשיעור 1% (10% אפר בצמנט, 10% צמנט בבטון), כתוסף ישיר לבטון הוא מהווה 7% ממנו (נגזר ממגבלת 160 ק"ג אפר פחם במ"ק בטון, לפי תקן הבטון). הנחות אלה אינן משקפות את המציאות. הצמנט מכיל מנימוקים טכנולוגיים עד 23% אפר פחם (13% כמחליף חרסית באמצעות הקלינקר<sup>19</sup>; 10% כתוסף פוצולני לצמנט) ולכן תורם כ- 2.3% אפר פחם לבטון הסטנדרטי המכיל צמנט בשיעור כ- 10% (בבטונים חזקים במיוחד הנדרשים ברבי קומות למשל מגיע מרכיב הצמנט עד לכ- 20% מתערובת הבטון. במקרים אלה יתרום הצמנט לבטון כ- 4.5% אפר פחם). כמו כן משיקולי כדאיות טכנו-כלכלית וזמינות מכיל הבטון אפר פחם כתוסף בשיעורים נמוכים משמעותית מהנחת הממונה – במוצע כ- 4% ממשקל הבטון כאשר האפר מחליף צמנט וחול, וקרוב יותר ל- 2% כאשר האפר מחליף צמנט בלבד<sup>20</sup>.

כיוון שלא צירף תחשיב המבסס את טענתו אין לנו אלא לחשב בעצמנו, בהנחות סבירות ועל פי נתונים המצויים בידינו, את השינוי הצפוי בחשיפת האוכלוסייה לקרינה מייננת שמקורה באפר פחם בבטון כתוצאה מהסתת האפר מיישום ישיר בבטון ליישום עקיף באמצעות הצמנט.

**התוצאה המתקבלת (מהחישוב המוצג להלן) הפוכה מכוונת הממונה: במקום הפחתה מצופה במנת הקרינה תיחשף האוכלוסייה בכללה למנה קולקטיבית מצטברת גבוהה יותר. רק בהנחת קיצור קיים המבנים (להלן בסעיף ההיבט הכלכלי), שתימנע בנייתם בבטון עם אפר פחם, תתקבל בטווח הארוך הפחתה בחשיפה לקרינה המקזזת את התוספת האמורה.**

חשוב להדגיש כבר כאן כי השינוי הצפוי בחשיפה לקרינה הן ברמה הפרטנית לאנשים מן הציבור והן ברמה המצטברת לכלל האוכלוסייה מצוי בתחום המוגדר טריוויאלי (זניח) ע"י הגופים הבינלאומיים כסבא"א וארגון הבריאות הבינלאומי. כמו כן יצוין בהקשר זה כי על פי האמור להלן בסעיף הדרגות הריגור, אין להתערב בניסיון לאכוף שינויים בסדר גודל זה על האוכלוסייה ועל הגורמים הפעילים במשק, כיוון שלא ניתן להצדיקם במחיר שיידרש המשק לשלם עליהם (להלן בסעיף ההיבט הכלכלי).

#### הנחות החישוב

על פי הוראת הממונה: "יש להעביר לתעשיית המלט את כל אפר התחתית והשלמה עד 800,000 טונה באפר מרחף. את כמות אפר הפחם העודפת ניתן להעביר לתעשיית הבטון".

בתעשיית המלט פועלים היום שני גורמים – נשר המייצרת קלינקר וצמנט לסוגיו ומשווקת אותו בצובר ובשקים ולב-ברון המייצר צמנט מעורב באפר מרחף המשווק על ידו בשקים. בהנחת ייצור 1 מיליון טונה אפר פחם מרחף ו- 100,000 טונה אפר תחתית, כצפוי במשטר תפעול תחנות הכח המתוכנן בשנים הקרובות (נערכה בדיקת רגישות כמותית בהנחת הפחתה מתמשכת בייצור האפר), ובהנחה שלייצור הצמנט בשקים מנוצלים 100,000 טונה אפר מרחף בשנה, מורה הממונה להעדיף ייצור צמנט לבטון המובא עד לכמות של 700,000 טונה בשנה. לתעשיות הצמנט (ללא ייצור לשקים) והבטון ניתן לספק 900,000 טונה אפר פחם<sup>21</sup>.

<sup>18</sup> Coal Combustion Residual Beneficial Use Evaluation: Fly Ash Concrete and FGD Gypsum Wallboard, USEPA, February 2014 (1.1.1 Existing Evaluations for Fly Ash Concrete).

<sup>19</sup> אפר פחם מנוצל בשיעור 18% בקלינקר כמקור לאלומינה. הקלינקר מהווה כ- 75% בצמנט CEMII הנפוץ בתעשיית הבטון, לכן תרומת האפר באמצעות הקלינקר לצמנט מגיעה ל-  $0.18 \times 75 = 13\%$ .

<sup>20</sup> אפר מרחף מנוצל כתוסף מחליף צמנט וחול בתערובות הבטון הנפוצות בשיעור 100 ק"ג למ"ק שהם כ- 4% ממשקלו. ק"ג מתוכם מחליפים 25 ק"ג צמנט (לפי ת.י. 118 – תקן הבטון, בגרסת 2015).

<sup>21</sup> החישוב מתעלם לשם פשטות משימושים אחרים, כדוגמת חקלאות ושפכים. כמו כן מניח החישוב תפקוד עקבי של ענף



בהנחת תפקוד משקי אופטימלי (מיצוי פוטנציאל אפר מרחף כתוסף לצמנט – 10% על פי תקן הצמנט וניצול מרבי אפשרי של אפר כתחליף לצמנט בתערובות הבטון בהתאם לתקן הבטון העדכני) כמצוין לעיל, הסטת האפר מתעשיית הבטון לתעשיית הצמנט בהוראת הממונה תנוצל כלהלן<sup>22</sup> (בטונות) תהיה:

טבלה 8 – שינוי בהקצאת אפר פחם בעקבות הוראת הממונה (טונות)

שינוי	לאחר הסטה	מצב מוצא	יעוד
0	407,000	4078,000	צמנט תוסף
250,000	293,000	43,000	קלינקר
-250,000	200,000	450,000	בטון תוסף
0	900,000	900,000	סה"כ

תוצאות החישוב<sup>23</sup>

מהחישוב המפורט בנספח עולה כי

- ברמה הפרטנית יחשפו אנשים מהציבור לשינוי במנת הקרינה במבנים שייבנו בשנת 2015 כלהלן:
  - תוספת בשיעור 0.01 mSv/y לאדם בקבוצות האוכלוסייה שתתגורר בבתים אשר בבנייתם נעשה שימוש בצמנט המכיל אפר בשיעור גבוה יותר עקב יישום ההוראה,
  - הפחתה בשיעור 0.028 mSv/y לאדם בקבוצת האוכלוסייה שתתגורר בבתים שבנייתם תוכננה מלכתחילה מבטון מתוסף באפר והוסבה לבטון ללא אפר עקב יישום ההוראה.

טבלה 9 – שינוי צפוי במנת הקרינה לפרטים מהציבור בשנת 2015

שינוי בתערובות הבטון	שינוי mSv/y לאדם
תוספת לבטון שהיה ונותר ללא תוסף אפר	0.012 בקלינקר
	0 בצמנט
תוספת לבטון שנותר עם תוסף אפר	0.01
הפחתה מבטון עם אפר שהוסב לבטון ללא תוסף אפר	-0.028

- ברמה הלאומית תגרום הסטת האפר מבטון לצמנט בהיקף הנדרש ע"י הממונה לתוספת כ- Sv 1.87 אדם בשנת 2015:
  - תוספת של כ- Sv 1.9 אדם עקב הגדלת כמות האפר בייצור צמנט,
  - הפחתה של כ- Sv 1.2 אדם עקב הקטנת כמות האפר המנוצלת בבטון.

טבלה 10 – שינוי צפוי במנה המצטברת הקולקטיבית לכלל האוכלוסייה בשנת 2015

שינוי בתערובות הבטון	אוכלוסייה	שינוי Sv/y אדם
תוספת לבטון שהיה ונותר ללא תוסף אפר	294,165 בקלינקר	3.41
	0 בצמנט	0
תוספת לבטון שנותר עם תוסף אפר	60,000	0.59
הפחתה מבטון עם אפר שהוסב לבטון ללא תוסף אפר	75,000	-2.13
סה"כ		1.87

הסיבה לגידול במנת החשיפה לקרינה נעוצה בהבדל באופן ניצול האפר בצמנט ובבטון. בעוד שכתוסף לבטון (ולצמנט בשלב טחינת הקלינקר) משפיעות תכונותיו הייחודיות של אפר הפחם המרחף – האפר בולע במבנה הזכוכיתי שלו חלק ניכר מהרדון הנוצר בו ובד בבד מקטין את שפיעת הרדון מכלל חומרי הגלם בבטון – הרי בניצול האפר כח"ג לקלינקר הוא מגיב ונקשר כימית עם המינרלים האחרים ושיעור אמנציית הרדון נקבע על פי המבנה

האפר ללא תקלות תפעוליות ותנודות עונתיות, המונע היווצרות עודפים המופנים ליעודים אחרים.  
<sup>22</sup> בהנחת צמיחת ביקוש לבטון ולצמנט בשיעור גידול האוכלוסייה תגדל בשיעור זה לאורך זמן הקצאת האפר המרחף כתוסף לצמנט ע"ח ניצולו כח"ג לייצור קלינקר.

<sup>23</sup> מהלך החישוב מפורט בנספח.



הפיזיקו-כימי הפתוח יותר של הצמנט. שיעור ההפחתה בשפיעת הרדון בהוספת אפר מרחף לבטון מגיע, על פי בדיקות השוואתיות של בטונים עם וללא אפר שנערכו ביוזמת המנהלת במעבדת ממ"ג-שורק ובבדיקות מדגמיות במעבדת NRG בהולנד, עד כדי 20% כמוצג בסעיף הקודם.

השינוי במנת הקרינה הצפויה עקב יישום ההוראה ישתנה משנה לשנה בתלות בשינויים בהיקף ענף הבנייה והאפר הזמין. בהנחה שכמות האפר תישאר קבועה מחד גיסא ובהנחת גידול בשיעור 2% בשנה בביקוש לצמנט ולבטון מאידך גיסא, תגדל הקצאת האפר המרחף כתוסף לצמנט על חשבון הקצאתו כח"ג לקלינקר, ותלך ותפחת התוספת המצטברת לכלל האוכלוסייה בהעדפת הצמנט על הבטון כאמור. בהנחות אלה ובהנחה על יתרת חיי תחנות הכח הפחמיות הקיימות (14 שנה בממוצע מערכתי, עד לגיל גריטה טכנו-כלכלי של 30 שנה), תתקבל תוספת הולכת וקטנה בחשיפת האוכלוסייה בכללה לקרינה שמקורה באפר הפחם, עד לרמה של כ- 0.87 סיוורט אדם בשנה ה-14 האחרונה.

חשיפת האוכלוסייה לשינוי במנת הקרינה תתמיד לאורך קיים המבנים (50 שנה) מכל אחת משנות ניצול האפר. בחישוב כולל לאורך שנות פעילות תחנות הכח הפחמיות וקיים המבנים, תיחשף האוכלוסייה בהנחות לעיל לתוספת מנה מצטברת של כ- Sv 1,100 אדם. בהתחשב בקיצור קיים המבנים בהימנע השימוש באפר פחם בבטון מ-75 שנה ל-50 שנה יש להפחית חשיפה נמנעת מצטברת מהבטון עם אפר בהשוואה לבטון ללא אפר פחם של כ- Sv 1,050 אדם ובסה"כ תיגרם תוספת חשיפה של כ- Sv 50 אדם.

בדיקת רגישות שנעשתה בהנחת הפחתה מתמשכת בשיעור 2% בשנה של כמות האפר המרחף המיוצרת עקב הפחתה בניצול תחנות הכח הפחמיות עד לכ- 780,000 טונה בשנה האחרונה להפעלתן, העלתה תוספת מנה מצטברת לאורך שנות פעילותן של כ- Sv 900 אדם. הסיבה היא שעקב הפחתת האפר הזמין, בעוד העדפת הצמנט נותרת קבועה, יפחת מהר יותר חלקה של תעשיית הבטון בהשוואה למצב ללא הוראת הממונה באספקת אפר קבועה ותקטן בשיעור גבוה יותר תרומתו הפוטנציאלית של האפר להפחתת שפיעת הרדון. בהפחתת החשיפה הנמנעת ביתרת שנות חיי המבנה מבטון המכיל אפר פחם כנ"ל תימנע חשיפה של כ- Sv 1,300 אדם ובסה"כ תתקבל הפחתה של כ- Sv 400 אדם.

בסיפא של סעיף זה יובהר שוב שהשינויים האמורים בחשיפה לקרינה, התוספת וההפחתה לפרטים מהציבור ולציבור בכללו, מצויים כולם בתחום המוגדר טריוויאלי בהקשר לבטיחות קרינה. בחשיפה לקרינה ברמות גבוהות בהרבה מונחה הרגולטור ע"י ההנחיות הבינלאומיות שלא להתערב בשוק באמצעים רגולטוריים המיועדים להפחית את הקרינה (להלן בסעיף 3 – ההיבט הרגולטורי). אינדיקציה לרמה הזניחה של השינוי ניתן לקבל מהערך הכלכלי של השפעתו, על פי המדדים המקובלים בעולם<sup>24</sup>, בשיעור 175 מיליון ₪ ו-53 מיליון ₪ ערך נוכחי בהנחת כמות אפר קבועה ופוחתת בהתאמה. את הנזק הרדיולוגי הנגרם או הנמנע יש להשוות למחיר למשק של הסטת השימוש באפר מבטון לצמנט (בסעיף 4 – ההיבט המשקי, סעיף משנה ב' – עלות למשק של הסטת אפר פחם מייצור בטון לייצור צמנט) הנאמד במיליארדי ₪. מכאן שעל פי עקרון ALARA בתקן הבינלאומי להגנה מקרינה אין הצדקה לביצוע הוראת הממונה.

#### ד. הסטת אפר פחם מבטון לצמנט תפגע בפיתוח בר קיימא

##### 1. תפגע בתרומת האפר להפחתת פליטת CO<sub>2</sub>

ייצור קלינקר כרוך בשריפת אבן גיר הפולטת בתהליך הכימי המתחולל בכבשן גז CO<sub>2</sub> התורם על פי המחקר הסביבתי המקובל להתחממות כדור הארץ. ייצור טונה צמנט גורם, על פי פרסומי מחקר בינלאומיים, לפליטת כ-1 טונה CO<sub>2</sub>. ביחס תחלופה תקני של 0.4 – 0.5 צמנט לאפר מרחף, תגרום הוראת הממונה המסיטה אפר מניצולו בבטון כמחליף צמנט לייצור צמנט לפליטת 115 טונה CO<sub>2</sub> בשנה. בסעיף הדן בעלות הוראת הממונה למשק יוצג המחיר הכלכלי של מפגע סביבתי זה.

##### 2. תקטין את תרומת האפר למניעת כרייה של חומרי גלם המצויים במחסור

על פי יחסי התחלופה הטכנולוגיים טונה אפר מחליפה 1.2 טונה חול בייצור בטון. הסטת 230,000 טונה אפר מייצור בטון לייצור צמנט משמעה הימנעות מחסכון בחול בהיקף כ- 280,000 טונה בשנה.

<sup>24</sup> על פי הוועדה המקצועית-תורתית לבטיחות קרינה בישראל עמד ערך זה בתחילת העשור הקודם על \$ 100,000 ל-Sv אדם, כמשקף את רמת הפיתוח המשקי והבריאותי בישראל. בהתחשב באינפלציה הדולרית מאז (כ-30%) ועליית השכר הריאלי (מנוכה מדד יוקר המחיה) הממוצע במשק (כ-20%), ערך זה אמור להיות \$ 150,000 היום. התייחסות נוספת בענין הערך הכספי של החשיפה הקולקטיבית על פי עקרונות ALARA בהערות לסעיף 3. א. 6. להלן.